

Сети LoRaWAN

Напомним, что термином IoT (Internet of Things) обозначают различные устройства, которые используют выход в сеть для взаимодействия друг с другом. К примеру, умная розетка подключается к Интернету не затем, чтобы сидеть в социальных сетях. Она получает из Сети команды, которые отправляет ее владелец. И она вещь. Вещь, которая пользуется Интернетом.

К буму IoT готовились давно. И почти сразу стало ясно, что для стабильной работы существующие стандарты передачи данных подходят мало.

Зачем что-то новое?

На первый взгляд, у нас уже есть готовые и обкатанные решения. Wi-Fi, LTE, почему не использовать их?

Причин несколько. Представим себе дом на 400 квартир, в каждом из которых стоит два водосчетчика и электросчетчик. Допустим, это современный дом, и каждый счетчик передает показания в Интернет.

1. Объем. На один жилой дом из 400 квартир придется 1200 счетчиков-пользователей. У них будет копеечный трафик, но если все они будут висеть, к примеру, на базовой станции LTE, то места для людей на этой базовой станции уже не останется. И это один дом. А ведь базовую станцию, обычно, ставят на микрорайон или даже больше.
2. Потребление. Если электросчетчику еще можно обеспечить питание, то тянуть кабель к водосчетчику не слишком удобно. Значит радиомодуль водосчетчика должен работать от батарейки. Но даже хорошую батарейку Wi-Fi и LTE съедят за несколько суток. Мы же хотим, чтобы менять элемент питания не приходилось минимум год.
3. Другие приоритеты. Нам не нужен канал связи в 5 мбит/с, чтобы раз в сутки передать, сколько кубов воды набежало по каждой квартире. Хватит считанных бит. Мы ограничены по мощности передатчика, надо чтобы он не ел батарейку. Значит, можно использовать правило "больше энергии в один бит – выше вероятность приема" таким образом, что канал связи на минимальной скорости и с минимальной мощностью гарантированно пройдет нужное расстояние. Даже если сигнал будет ниже уровня шума.

После тщательного анализа рынка компания Интерсвязь приняла решение строить свою сеть на базе стандарта LoRa.

Что такое LoRa?

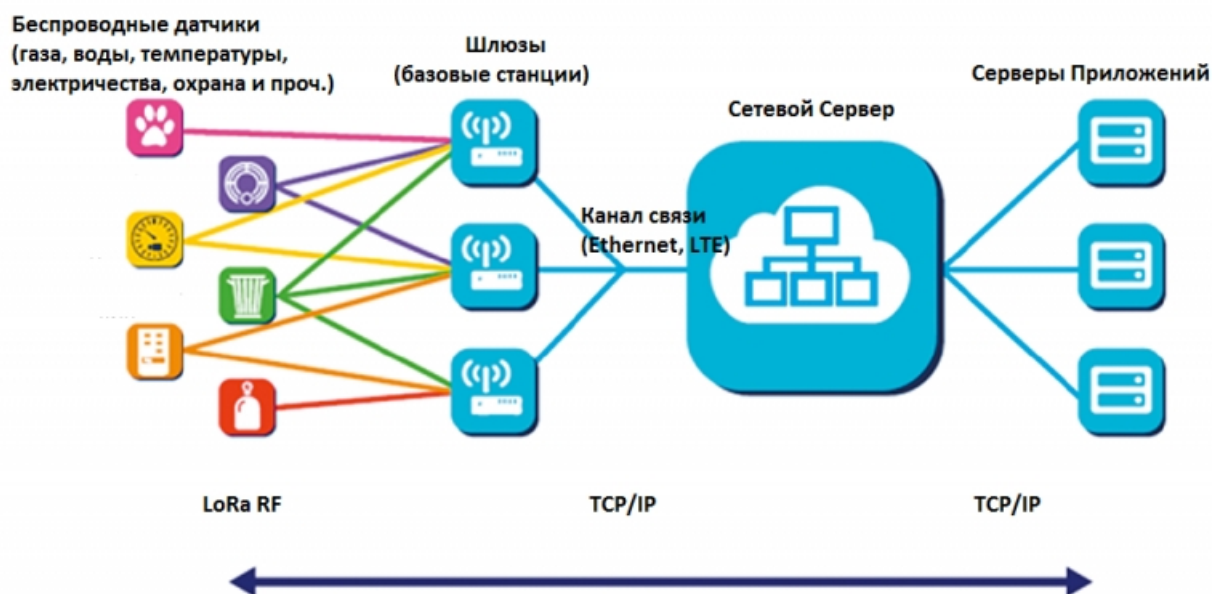
Строго говоря, аббревиатурой LoRa (Long Range) обозначают лишь вид модуляции, то есть уровень I1 по модели OSI. Протокол канального уровня носит имя LoRaWAN. Но чаще всего "Лорой" называют совокупную систему, использующую LoRa на физическом и LoRaWAN на канальном уровне.

Работает это следующим образом. Базовая станция слушает эфир в заданном диапазоне частот. Когда она слышит запрос от какого-либо из устройств, то отвечает ему на частоте обращения. Ширина канала при этом составляет 125 кГц, максимальная скорость – чуть более 5 килобит/с. Да-да, вы не ослышались. Именно 5 и именно килобит/с. Этот стандарт Интернета вещей не создан для просмотра потокового видео. Его задача максимально быстро и гарантированно передать небольшое сообщение от датчика на базовую станцию. В зависимости от радиоусловий выбирается оптимальный набор параметров связи. За это отвечает SF (spreading factor) – коэффициент, к которому привязываются параметры передачи и приема. SF – это целое число, в стандарте он предусмотрен от 12 до 7. Чем выше SF, тем лучше помехозащищенность линии, но тем ниже скорость и тем больше времени в эфире занимает передача. Для примера, максимальная помехозащищенность достигается на SF=12. При этом время пакета в эфире составляет 2,466 сек, а скорость – 292 бит/сек.

Однако чем больше датчиков будут использовать базовую станцию, тем больше времени в эфире они займут. Потому, при хороших радиоусловиях, SF будет меньше. Растет скорость – падает время передачи.

Пакеты принимаются базовой станцией (в архитектуре LoRa ее чаще называют шлюзом), однако обрабатывает их следующее звено цепи – сетевой сервер. Этот сервер отвечает за управление всеми шлюзами, он решает через какой шлюз общаться с датчиком (если датчик слышно через несколько шлюзов) и определяет еще ряд важных параметров.

Однако сетевой сервер не обрабатывает полезную информацию из пакетов. Это делает следующее и самое важное звено – сервер приложений. Именно на сервере приложений происходит расшифровка показаний от датчиков, они в понятной форме раздаются либо в биллинг, либо в интерфейс потребителю, либо в другое заданное место.



Почему именно LoRa?

На данный момент существует несколько десятков стандартов Интернет-вещей. Часть из них универсальны, часть приспособлены решать свой круг задач. Все они более-менее придерживаются вышеописанных принципов. Есть даже стандарты на базе Wi-Fi и LTE. Так почему именно LoRa?

Причин несколько:

1. LoRa использует частотный диапазон, разрешенный для использования в России. Существуют системы LoRa для диапазона 433 МГц, но в нашей стране больше прижились частоты из диапазона 868. Там у нас есть 1,5 МГц нелицензируемого спектра. 864-865 МГц и 868,7-869,2. В первом интервале у нас есть ограничение по времени нахождения передатчика в эфире (не более 0,1%) и по мощности (не более 25 мВт). Во втором – только по мощности (те же 25 мВт). Так же есть оговорки по поводу использования вблизи аэропортов. Как уже было упомянуто, ширина канала LoRa – 125 кГц. В стандарте предусмотрены 250 и 500, но в России их обычно не используют. Итак, в 1,5 МГц нам надо "запихнуть" 8 основных частот и одну резервную (RX2, второе окно, которое используется, если не проходит связь по основному каналу). Это возможно? Если строго придерживаться рекомендаций разработчика Semtech, то защитный интервал между каналами должен составлять 75 кГц. Значит, удастся разместить только 7 каналов. Не 9, но тоже хорошо. Есть надежда, что со временем ГКРЧ даст разрешение на расширение этого спектра.
2. LoRa как раз разрабатывалась для работы на мощности 25 мВт. И тут не нарушаем. Пусть вас не смущает столь низкий уровень – технология может работать ниже уровня шума.
3. LoRa – это открытый стандарт. Чипы для конечных устройств в свободной продаже, есть вся документация, и она открыта любому желающему. Датчики и радиомодули под этот стандарт только в России делают несколько компаний. Она не "вещь в себе", даже если пропадет один из производителей, останутся другие.
4. LoRa имеет хороший радиус действия, она может принимать информацию от устройств в подвале дома или в километре от базовой станции. На самом деле, может принять информацию и от датчика в 4 километрах городских условий. Но тут страдает стабильность, поскольку начинается потеря пакетов. Однако, километр или два мы имеем.
5. Датчики LoRa живут от батареек минимум год. А то и больше. Тут есть зависимость от класса датчика (A, B или C). Самый живучий – A-класс — может проработать несколько лет.

Выбор вендора

Российский рынок похож на спринтера, который замер в ожидании старта. Предложений по технологиям LoRa множество. Но половина фирм оказываются "перекупками", которые технологию в глаза не видели и готовы на заказ привезти что-то там из-за рубежа.

Еще часть имеет готовые платформы, к которым и стремится привязать пользователей и операторов. Т.е. сервер приложений будет находиться не у оператора, а у поставщика оборудования. Такая зависимость нас не устраивала. Потому мы решили писать сервер приложений своими силами.

Встал вопрос – на каких базовых станциях будем работать?

По сути, на рынке сейчас не так уж много предложений. Мы выбрали на тест три варианта:

1. БС Kerlink (Франция).
2. БС Вега (Россия).
3. БС Cisco (США).

Прошу обратить внимание, что я пишу только национальную принадлежность компании-производителя. Сказать, что БС собраны по месту прописки будет не совсем верно. Например, Вега собирает станции в России, но использует для этого те же чипы Semtech. Потому каждая станция является некой солянкой.

Первоначально тесты проводились на штатных антеннах. Замеряли карту покрытия, считали две зоны охвата.

Зона 1 – гарантированно проходят все пакеты

Зона 2 – идут незначительные потери, не более 15 процентов.

В целом, все БС показали сходные результаты. У Веги и Kerlink Зона1 оказалась в радиусе 800-900 метров. Cisco за счет системы "одна антенна на передачу-две на прием" показала результаты на 30 процентов лучше. Зона 2 у всех трех станций оказалась примерно одинаковой.

Вендор	Зона 1 (полное прохождение пакетов)	Зона 2 (потеря не более 15 процентов)
Kerlink	800-900 метров	1400-1500 метров
Вега	800-900 метров	1400-1500 метров
Cisco	1100-1200 метров	1400-1500 метров

Надо понимать, что берутся усредненные показания. Скажем, глухой подвал в радиусе 500 метров не всегда возможно покрыть. А до квартиры на 9 этаже в прямой видимости от БС "добьет" и на 2,5 км без потерь.

В целом, два самых важных фактора, влияющих на распространение сигнала оказались ожидаемы:

1. Плотность застройки. Сюда относится количество домов на пути сигнала, их этажность и материал, из которого построены. Скажем, монолитные дома – более серьезное препятствие, нежели панельки.
2. Рельеф местности. Челябинск не отличается ровным рельефом, все-таки Урал. Потому мы заметили явное увеличение зоны покрытия на снижениях и уменьшение — на подъемах.

Сам по себе сигнал оказался крайне устойчив к промышленным помехам. Единственной слабостью технологии стали антенны GSM-900. На крышах рядом с ними БС заметно теряли эффективность. Однако, сотовые антенны других диапазонов существенного влияния не оказывали.

В итоге, мы не увидели большой разницы между Kerlinkом и Вегой. А Вега оказалась почти в пять раз дешевле конкурента, кроме того, ее инженеры оказывают сильную поддержку в виде консультаций. Потому, пилотный проект приняли решение строить на Вега.

Что касается Cisco, то нам был предоставлен лишь опытный образец и на момент написания статьи у них еще не запущено массовое производство. Однако именно Cisco победила по зоне покрытия, проникающей способности и ряду технологических особенностей.

После мы повторили тесты, используя антенны Радиал с лучшим коэффициентом усиления, нежели штатные антенны БС (10 dBi против 6 dBi). Новые антенны улучшили карту покрытия Cisco в среднем на 15 процентов, а карта покрытия Веги подскочила аж на 40 процентов (штатные антенны российского производителя не отличаются хорошими характеристиками). Kerlink к тому времени не рассматривали из-за необоснованной дороговизны.

Таким образом, Вега не сильно уступила своему заокеанскому конкуренту.

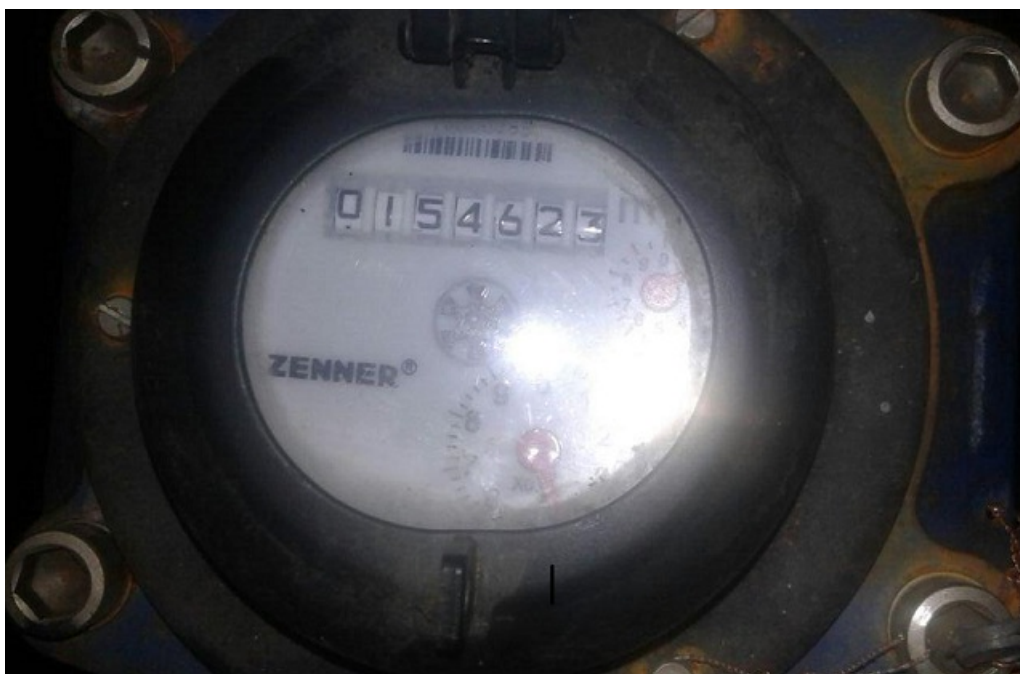
В итоге, оказалось, что на стабильное и качественное покрытие такого города как Челябинск требуется порядка 40-50 БС.

Пилотная зона

В рамках тестов мы подключили к нашей сети общедомовые водосчетчики одной из управляющих компаний. Водосчетчики Zenner имели импульсные выходы, для съема информации использовали датчики Вега СИ-11. Это простой счетчик импульсов с автономным питанием в компактном корпусе с радиомодулем LoRa. Крепится на DIN-рейку.



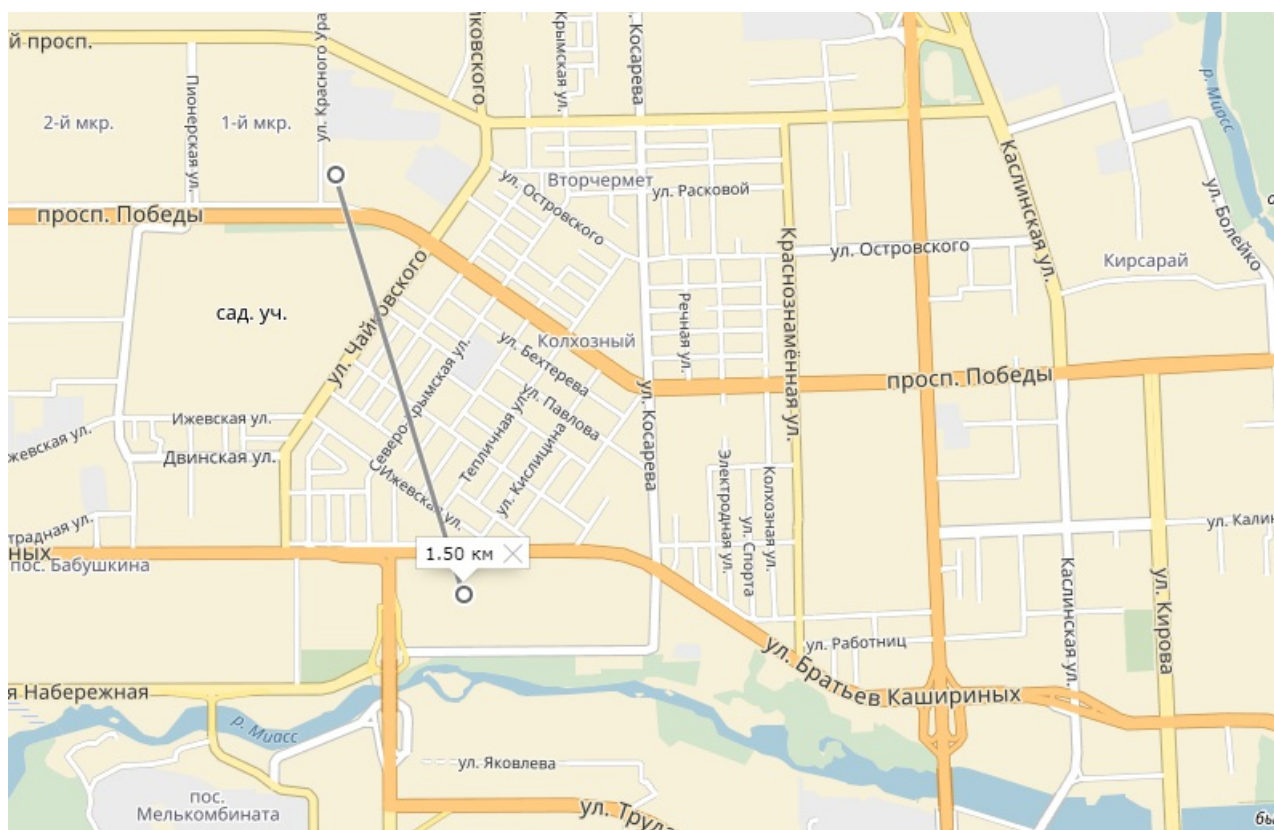
Для качественной оценки параметров был установлен минимальный период отправки показаний – 1 час. Далее, полученные показания периодически сверялись с тем, что выдает счетчик на своем циферблате. Если цена импульса выставлена верно, и счётчик Zenner исправен, то отклонений в показаниях не наблюдалось.



ДАННЫЕ

28 августа 2017 г. 13:00	154654.2 куб.м	93%	26°
28 августа 2017 г. 12:00	154646.8 куб.м	93%	26°
28 августа 2017 г. 11:00	154639.5 куб.м	93%	26°
28 августа 2017 г. 10:00	154632.2 куб.м	93%	26°
28 августа 2017 г. 09:00	154623.6 куб.м	93%	26°
28 августа 2017 г. 08:00	154614.8 куб.м	93%	26°
28 августа 2017 г. 07:00	154605.7 куб.м	93%	26°

Т.к. подобные приборы учета ставятся в подвалах, мы получили хороший опыт практического применения технологии LoRa. В целом, результаты совпали с нашими тестами. В зависимости от рельефа, застройки и конфигурации подвала шлюз мог установить связь с датчиками на расстоянии 500-2300 метров. На приведенной карте случай среднего подвала со слуховыми окнами. Он находится на расстоянии 1,5 км от шлюза. Потери пакетов не происходит. Отметим, что по прямой распространения сигнала находится хороший кусок частного сектора, который не вносит большого затухания.



Масштабирование сети

Базовые станции LoRa, подключенные к одному сетевому серверу, работают как единый механизм. Т.к. большую часть времени конечные устройства молчат, то коллизии в эфире – случай крайне редкий. Обычно, когда датчик выходит на связь, его слышат сразу несколько БС. Но ответит только одна. Это не обязательно самая ближняя к датчику БС, но всегда та, у которой лучшие качественные характеристики канала связи.

Сеть очень легко нарастить – нужно просто подключать настроенную БС к сетевому серверу через Ethernet или мобильные сети. Но увлекаться слишком большой плотностью станций на единицу площади нельзя:

1. Это экономически нецелесообразно. Станции стоят денег, слишком высокая плотность приведет к необоснованным тратам.
2. Станция всегда должна находиться на доминирующей высоте. Если ваша станция находится на 16-этажном доме и хорошо покрывает микрорайон, то большая часть информации пойдет через нее. Какая-нибудь дополнительная БС у нее под боком, скорее всего, будет большую часть времени простаивать.
3. Каждая БС, так или иначе, может занимать в эфире драгоценное место. Слишком высокая плотность БС повышает риск коллизий.

Оптимальным радиусом работы мы выбрали 900-1000 метров. Это с запасом, т.к. многие наши радиомодули находятся в подвалах. Там не самые лучшие радиоусловия, приходится вставлять поближе, чтобы их услышать. В особо сложных случаях можно уменьшить этот радиус, хотя такая потребность возникала у нас всего два раза.

Что дальше?

Главный вопрос, который задают скептики. Замечательно, у вас есть технологии. Потребители-то где?

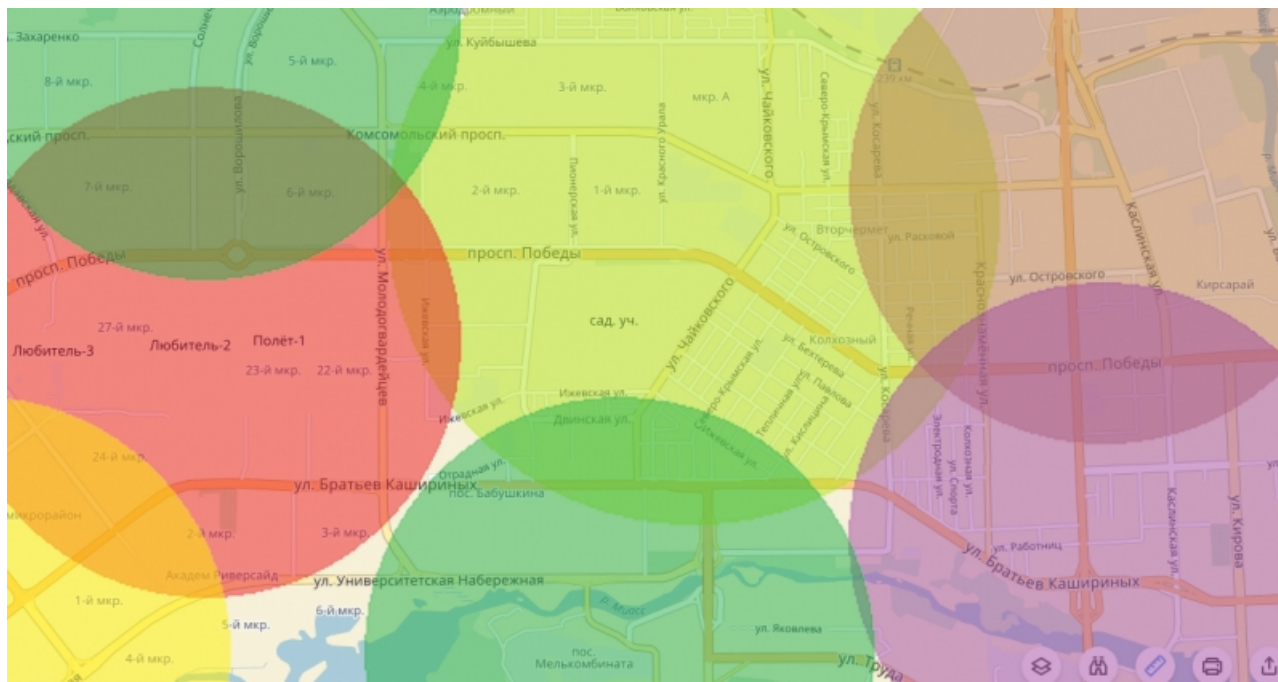
Да вот они! Прямо перед вами. На данный момент компания "Интерсвязь" реализует масштабный проект по подключению различных общедомовых счетчиков к единому центру сбора данных. В перспективе подключение других общедомовых приборов учета. Опрос устройства производится именно через технологию LoRa.

При этом счетчику совсем не обязательно иметь встроенный радиомодуль. Достаточно импульсного выхода, RS-232 или RS-485. В этом случае, рядом с ним устанавливается внешний радиомодуль с необходимым интерфейсом, который собирает и передает показания.

Справедливо это так же и для квартирных приборов учета. Теперь не нужно передавать показания в офис или через Интернет. Если вы подключены к серверу приложения, то данные будут переданы автоматически.

Данная услуга пользуется спросом у управляющих компаний. Теперь им не надо посылать слесаря дядю Петю в подвал, чтобы он там переписал показания счетчиков (точно ли сходит???). Раз в час радиомодуль сообщит показания на сервер, а тот передаст в биллинг.

Радиомодуль питается автономно, от своей батареи. По подсчетам первых месяцев эксплуатации батареи хватит в среднем на год. Можно увеличить срок службы, выставив передачу показаний раз в сутки. Однако пока проводится ряд статистических экспериментов, и мы снимаем данные все же раз в час. В рамках тестов.



В своем сообщении радиомодуль передает самые необходимые данные: число импульсов, заряд батареи, температура счетчика и номер пакета. По сетевому серверу можно отследить выход модуля на связь, стабильность прохождения пакетов, уровень сигнала и шлюз, за который модуль держится. Сами же показания в удобной форме нам (и клиентам) передает сервер приложений.

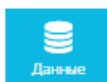
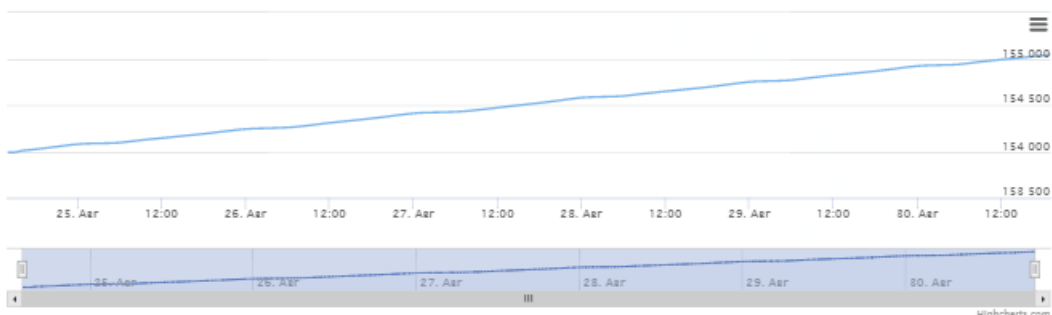


ГРАФИК ПОКАЗАНИЙ



ДАННЫЕ

25 августа 2017 г. 03:00	154087.3 куб.м	94%	26°	202
25 августа 2017 г. 02:00	154085.8 куб.м	94%	26°	201
25 августа 2017 г. 01:00	154083.4 куб.м	94%	26°	200
25 августа 2017 г. 00:00	154078.4 куб.м	94%	26°	199
24 августа 2017 г. 23:00	154070.8 куб.м	94%	26°	198
24 августа 2017 г. 22:00	154061.2 куб.м	94%	26°	197
24 августа 2017 г. 21:00	154051.7 куб.м	94%	26°	196
24 августа 2017 г. 20:00	154042.3 куб.м	94%	26°	195
24 августа 2017 г. 19:00	154032.8 куб.м	94%	26°	194

Заключение

Сейчас мы продолжаем развивать нашу технологию и подключать к ней новых абонентов. В планах реализация еще множества технических новшеств, ввод в строй нового оборудования и софта. Проходят тестирования различные радиомодули и законченные устройства, которые смогут работать в нашей сети. Мы собираем информацию от абонентов, пытаемся понять, что еще нужно, в чем есть потребность. К примеру, становится ясно, что на основе показаний водосчетчиков можно составить оперативную аналитику. На ее основе, к примеру, можно отследить протечку воды.

Все эти пожелания оформляются в виде задач нашим инженерам и передаются в работу. Еще многое предстоит сделать, однако уже сейчас мы можем сказать. "Интернет вещей теперь в вашем доме!"